

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОЧНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ПЕРЕХОДНОГО КЛАССА В ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР $T_{\text{сп}} + (20...100) ^\circ\text{C}$

Бредихина В.А., Русаков К.А.

Руководитель – профессор, к.т.н. Демаков С.Л.

УрФУ, г. Екатеринбург

kirillustuvs@yandex.ru

В работе представлено изучение кинетики рекристаллизации высокопрочного титанового сплава переходного класса в диапазоне температур $T_{\text{сп}} + (20...100) ^\circ\text{C}$. Произведен металлографический анализ микроструктуры, полученной при различных режимах термообработки. Полученные результаты проанализированы с использованием уравнения Колмогорова-Джонсона-Мела-Аврами.

Введение.

Титан и его сплавы имеют два основных преимущества по сравнению с другими конструкционными металлами (Fe, Al, Cu, Mg) и сплавами на их основе, а именно высокую удельную прочность и отличную коррозионную стойкость в самых суровых атмосферных условиях, а также в ряде агрессивных сред. Получение необходимого комплекса свойств невозможно без знаний о влиянии легирования на фазовый состав и структуру сплавов, сплавах разных составов, взаимосвязи режимов термомеханической обработки с формирующимся комплексом физико-механических свойств в полуфабрикатах [1].

Данная работа проведена с целью изучения процессов рекристаллизации в высокопрочном титановом сплаве переходного класса. В работе проводится сравнительный анализ структур полученных при различных режимах термообработки (анализ микроструктуры, размер рекристаллизованных зерен, их объемная доля).

Материал и методика эксперимента.

Материалом для исследования послужили образцы, подвергнутые выдержкам 4, 8, 12, 16, 32 и 64 минуты в β -области при температурах $T_{\text{сп}}+20^\circ\text{C}$, $T_{\text{сп}}+50^\circ\text{C}$ и $T_{\text{сп}}+100^\circ\text{C}$ после предварительного подогрева в $\alpha+\beta$ -области.

Использовались микрошлифы, подвергнутые травлению в водном растворе азотной и плавиковой кислот в соотношении – 1 часть HF + 3 части HNO₃ + 6 частей H₂O.

Металлографический анализ осуществляли с применением оптического микроскопа "Olympus GX51" при увеличениях 50...100 крат с помощью программного пакета анализа изображений SIAMS 700. Для разделения рекристаллизованных и нерекристаллизованных зерен использовалось

низкотемпературное старение в течение 10 минут. Предполагалось, что в деформированном (нерекристаллизованном) зерне процесс старения начнется раньше чем в рекристаллизованном зерне.

Результаты металлографического анализа обрабатывались с использованием уравнения Колмогорова-Джонсона-Мела-Аврами [2].

Результаты и их обсуждение.

Образцы отожженные при температуре $T_m + 20$ °С.

Образцы с временами выдержки 4...12 мин. имели повышенную травимость, матовую поверхность. Вследствие этого можно сделать вывод, что образцы не прогрелись до нужной температуры и не перешли в β - область. Травимость образцов с временами выдержки 16...64 мин. напротив была низкой и имели блестящую поверхность.

После 4 и 8 мин выдержки в структуре наблюдаются только деформированные зерна, форма зерна не изменилась, границы прямые. Т.е. в течение 4 и 8 мин признаки начала рекристаллизационных процессов не обнаружены.

При выдержке 12 мин процессы рекристаллизации начинаются. Наблюдается образование рекристаллизованных зерен на стыках границ зерен, близких к тройным стыкам. Форма новых зерен близка к равноосным, большее количество границ остаются чистыми и не имеют рекристаллизованных зерен (рисунок 1 а). На искривленных границах наблюдаются образования выступов (языков), тогда как на прямых границах данных образований нет.

Увеличение времени выдержки до 16 мин приводит к росту объемной доли рекристаллизованных зерен до 29 % и к увеличению их среднего размера - 210 мкм. При данной выдержке происходит частично смыкание рекристаллизованных зерен.

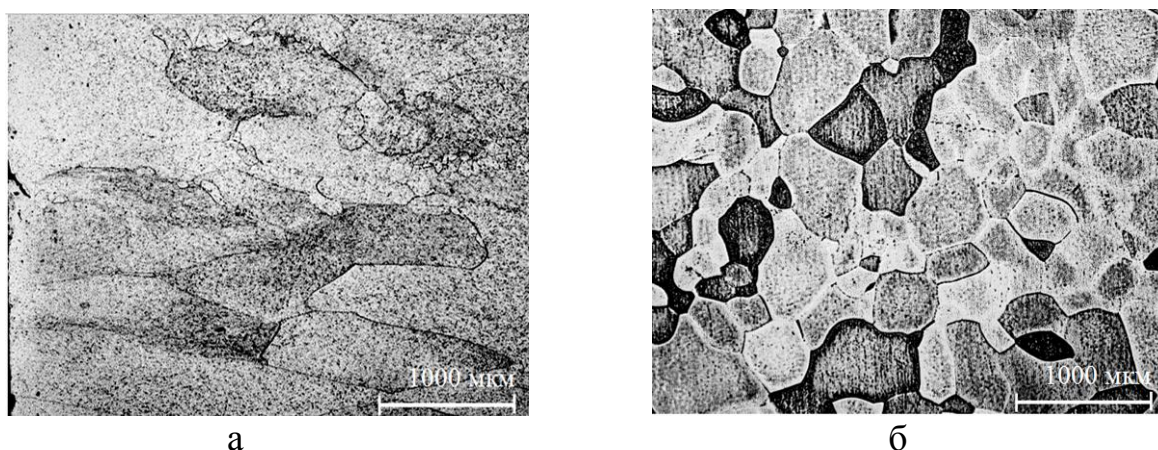


Рисунок 1 Микроструктура образцов отожженных при температуре $T_m + 20$ °С со временами выдержки: а – 12 мин., б – 32 мин

Практически полное окончание первичной рекристаллизации зафиксировано при выдержке 32 мин (рисунок 1 б). Объемная доля рекристаллизованных зерен составила 97 %. Были обнаружены лишь несколько участков, представляющих собой остатки деформированных зерен. Условно можно считать, что процесс первичной рекристаллизации завершился и начинается процесс собирательной рекристаллизации, границы зерен спрямляются, средний размер зерна увеличивается до 290 мкм.

Дальнейшее увеличение времени выдержки до 64 мин приводит к продолжению собирательной рекристаллизации сопровождающуюся увеличением среднего размера зерна до 300 мкм.

Образцы отожженные при температуре $T_m + 50$ °C.

При выдержке 4 мин в структуре наблюдаются только деформированные зерна, форма которых не изменилась. Начала рекристаллизационных процессов не обнаружено.

После 8 минутной выдержки наблюдалось начало рекристаллизационных процессов, появляются отдельные рекристаллизованные зерна. Объемная доля рекристаллизованных зерен не велика около 9 %, их средний размер составил 110 мкм. Также на границах наблюдаются образование «языков». Процессы рекристаллизации идут более активно по сравнению с $T_m + 20$ °C.

При выдержке 12 минут наблюдаются отдельные рекристаллизованные зерна с общими, совместными границами. Средний размер зерна 280 мкм и объемная доля 25 % продолжают увеличиваться.

Увеличение времени до 16 мин приводит к росту объемной доли рекристаллизованных зерен в 2 раза, по сравнению с 12 мин 50 % и к увеличению их среднего размера до 310 мкм.

При выдержке 64 мин протекает процесс собирательной рекристаллизации, о чем свидетельствует увеличение среднего размера зерна до 340 мкм.

Время окончания первичной рекристаллизации при температурах рекристаллизационного отжига $T_m + 20$ °C и $T_m + 50$ °C близко и составляет 32 минуты.

Образцы отожженные при температуре $T_m + 100$ °C.

В отличие от предыдущих температур обработок после 4-х минутной выдержки в структуре уже появляются рекристаллизованные зерна, их преимущественное образование на тройных стыках, на прямых границах наблюдаются образование "языков". Объемная доля рекристаллизованных зерен и их средний размер малы: 20 % и 150 мкм соответственно.

Вместе с более ранним началом процесса рекристаллизации, завершение первичной рекристаллизации также происходит уже при выдержке 16 минут. Объемная доля рекристаллизованных зерен составила 95 %. При данной выдержке уже происходит процесс собирательной рекристаллизации, средний размер зерна увеличивается до 330 мкм. Наблюдается движение вогнутой границы и ее спрямление.

Дальнейшее увеличение времени выдержки 32 и 64 мин (приводит к продолжению собирательной рекристаллизации сопровождающейся увеличением среднего размера зерна до 370 мкм и 430 мкм соответственно.

Объемная доля рекристаллизованных зерен.

По полученным результатам построен и представлен на рисунке 2 график изменения объемной доли рекристаллизованного зерна от времени и температуры отжига.

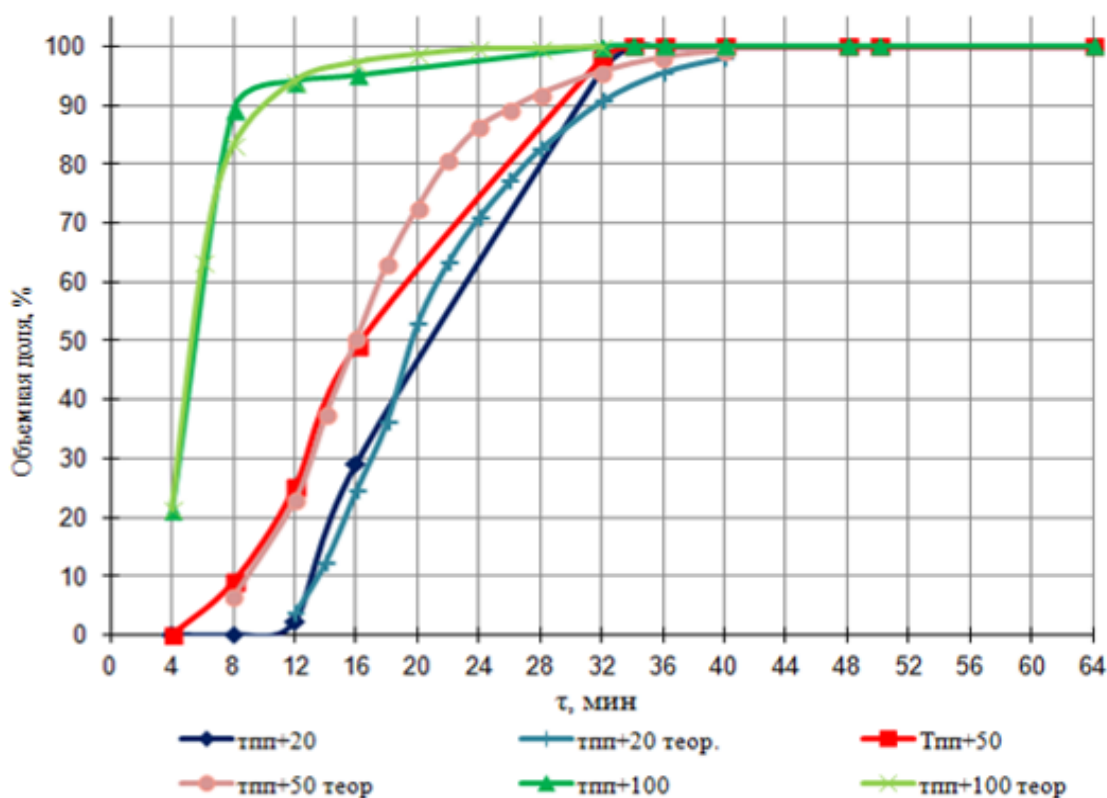


Рисунок 2 Объемная доля рекристаллизованных зерен в зависимости от времени и температуры отжига

После обсчета графика, изображенного на рисунке 2 его можно представить в виде прямой в координатах для исследуемых температур отжига (рисунок 3). Данные кинетические кривые описывают изменение кинетики первичной рекристаллизации.

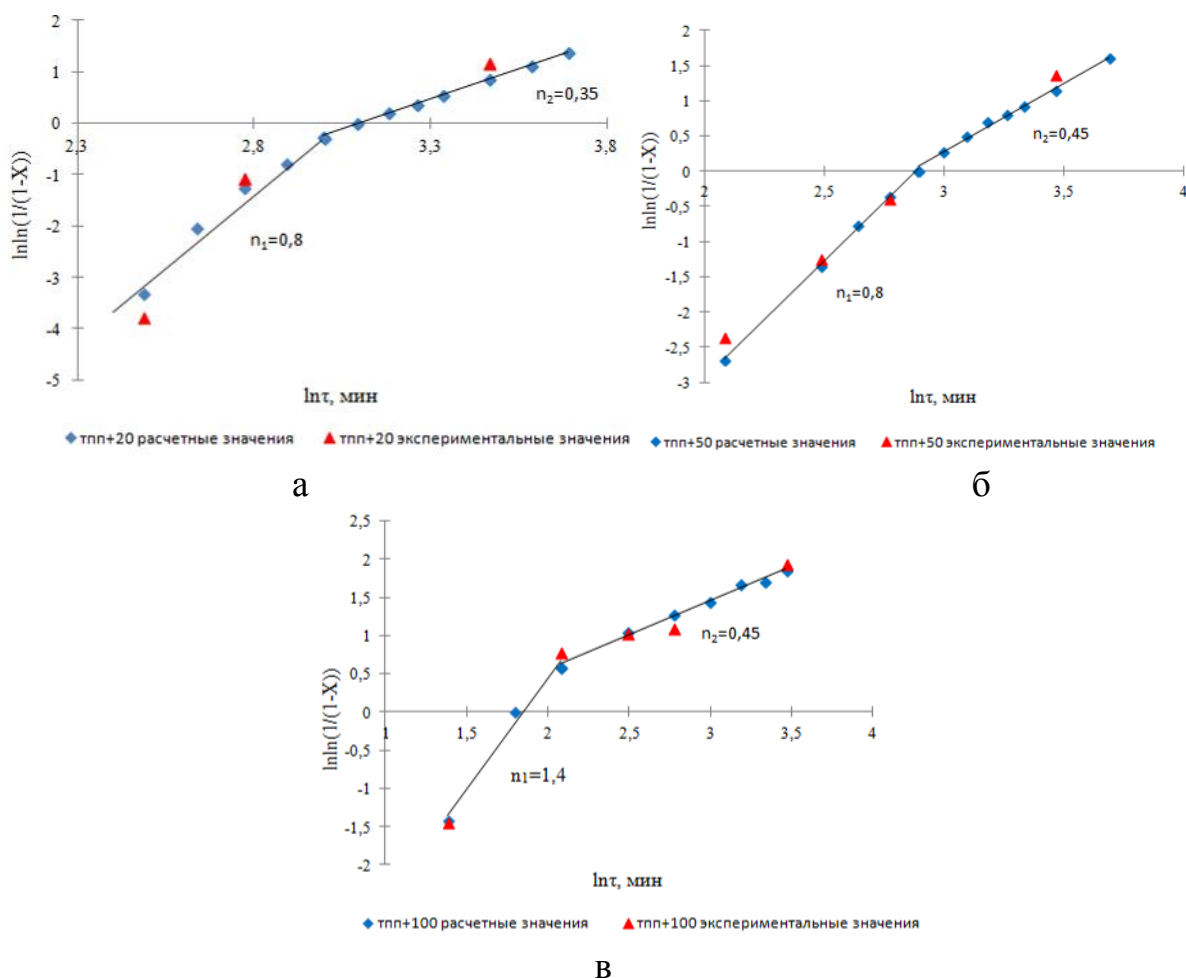


Рисунок 3 Кинетические кривые рекристаллизации при температурах:
а – $T_{\text{пп}} + 20^\circ\text{C}$, б – $T_{\text{пп}} + 50^\circ\text{C}$, в – $T_{\text{пп}} + 100^\circ\text{C}$

Выводы.

В результате работы исследована кинетика рекристаллизационных процессов при нагревах $T_{\text{пп}} + 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{пп}} + 50^\circ\text{C}$ и $T_{\text{пп}} + 100^\circ\text{C}$, обнаружено, что первичная рекристаллизация завершается при 16 минутной выдержке ($T_{\text{пп}} + 100^\circ\text{C}$) и 32 минутной выдержке ($T_{\text{пп}} + 20^\circ\text{C}$, $T_{\text{пп}} + 50^\circ\text{C}$). Если рассматривать время прохождения данного процесса от начала рекристаллизации, то при $T_{\text{пп}} + 20^\circ\text{C}$ составляет 20 мин; при $T_{\text{пп}} + 100^\circ\text{C}$ - 14 мин и $T_{\text{пп}} + 50^\circ\text{C}$ занимает промежуточное положение – около 18 мин.

Также построены кинетические кривые рекристаллизации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Металлография титановых сплавов: учебник/ Е.А. Боршова [и др.]; под ред. Н.Ф. Аношкин [и др.]. М.:Металлургия, 1980. 464 с.
2. Готштайн Г. Физико-химические основы материаловедения / Г. Готштайн; пер. с англ. К.Н. Золотовой, Д.О. Чаркина; под ред. В.П. Зломанова. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 400 с.